

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003年9月18日 (18.09.2003)

PCT

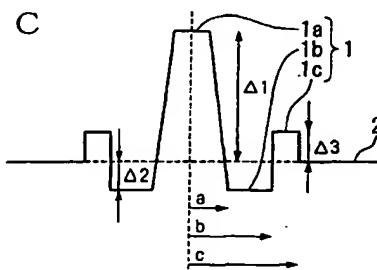
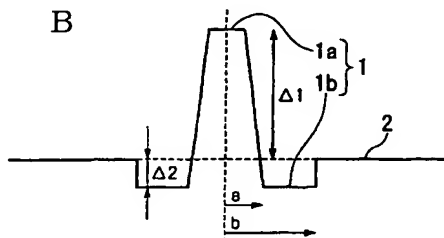
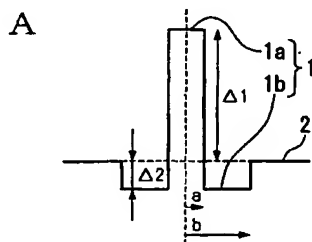
(10) 国際公開番号
WO 03/076991 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 6/22 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/03004 (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 愛川 和彦
(22) 国際出願日: 2003年3月13日 (13.03.2003) (AIKAWA, Kazuhiko) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉
(25) 国際出願の言語: 日本語 市 六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業
(26) 国際公開の言語: 日本語 所内 Chiba (JP). 清水 正砂 (SHIMIZU, Shogo) [JP/JP];
(30) 優先権データ: 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎 1 4 4 0 番地 株式
特願2002-069077 2002年3月13日 (13.03.2002) JP 会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 鈴木 龍次
特願2003-057013 2003年3月4日 (04.03.2003) JP (SUZUKI, Ryuji) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式 六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所
会社フジクラ (FUJIKURA LTD.) [JP/JP]; 〒135-8512 東 内 Chiba (JP). 中山 真一 (NAKAYAMA, Masakazu)
京都 江東区 木場 1 丁目 5 番 1 号 Tokyo (JP). [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎 1 4 4 0 番地
株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 姫野 邦
治 (HIMENO, Kuniharu) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県
佐倉市 六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事
業所内 Chiba (JP).

[続葉有]

(54) Title: DISPERSION COMPENSATING OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 分散補償光ファイバ



(57) Abstract: A dispersion compensating optical fiber that does not cause a loss increase even if wound on a small reel and that has stabilized temperature characteristics. A dispersion compensating optical fiber is formed that, at at least one wavelength of 1.53 - 1.63 μm , has a bending loss of 5 dB/m or less for a bending diameter of 20 mm, a wavelength dispersion of -120 ps/nm/km or less, a cut-off wavelength of 1.53 μm or less in the state of use, a clad outer diameter of 80 - 100 μm , a coating outer diameter of 160-200 μm , and a coating resin surface stickiness of 10 gf/mm or less. Set b/a at 1.5 - 3.5, c/b at 1.2 - 2.0, a core radius at 4 - 8 μm , $\Delta 1$ at +1.6% - +2.6%, $\Delta 2$ at 0.30% - 1.4%, and $\Delta 3$ at 0.30% - +1.0%. Set the Young's modulus of the primary coating layer at 0.15 kgf/mm² or less and its thickness at 20 - 30 μm , and the Young's modulus of the secondary coating layer at 50 kgf/mm² or more and its thickness at 15 - 30 μm .

(57) 要約: 小型のリールに巻き込んでも、損失増を引き起こさず、安定した温度特性を有する分散補償光ファイバを提供する。1.53～1.63 μm の少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径20mmの曲げ損失が5dB/m以下、波長分散が-120ps/nm/km以下、使用状態のカットオフ波長が1.53 μm 以下、クラッド外径が80～100 μm 、被覆外径が160～200 μm 、被覆樹脂表面の粘着性が10gf/mm以下の分散補償光ファイバを形成する。b/aを1.5～3.5、c/bを1.2～2.0、コア半径を4～8 μm 、 $\Delta 1$ を+1.6%～+2.6%、 $\Delta 2$ を-0.30%～-1.4%、 $\Delta 3$ を-0.30%～+1.0%とする。1次被覆層のヤング率を0.15kgf/mm²以下、厚さを20～30 μm 、2次被覆層のヤング率を50kgf/mm²以上、厚さを15～30 μm とする。



(74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒
169-8925 東京都 新宿区 高田馬場三丁目 2 3 番 3 号
ORビル Tokyo (JP).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(81) 指定国 (国内): AU, CA, CN, RU, US.

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, SI, SK, TR).

明細書

分散補償光ファイバ

技術分野

本発明は、 $1.3\mu\text{m}$ 帯に零分散波長を有する $1.3\mu\text{m}$ 帯零分散シングルモード光ファイバ（Standard Single Mode Fiber、以下、「S-SMF」と略記する。）、もしくは $1.55\mu\text{m}$ 帯で数 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散を有するノン零分散シフト光ファイバ（Non-Zero Dispersion Shifted Fiber、以下、「NZ-DSF」と略記する。）の波長分散を補償する分散補償光ファイバに関し、特に、小型リールに巻き込んでモジュール化しても特性劣化の少ない分散補償光ファイバに関する。

本出願は日本国特許出願第2003-057013号及び第2002-069077号を基礎としており、その内容を本明細書に組み込む。

背景技術

一般的に光ファイバ伝送路の伝送距離を長くし、伝送速度を高速化し、波長多重数を増やすと、伝送損失、累積波長分散、偏波モード分散（Polarization Mode Dispersion、以下、「PMD」と略記する。）が問題となる。伝送損失については、エルビウム添加光ファイバ増幅器が実用化されたことによって補償することが可能となった。次に問題となるのが累積波長分散である。伝送速度と許容される波長分散の関係を図3に示す。この累積波長分散は、分散補償光ファイバなどを用いたモジュールによって補償することが可能である。

ところで、現在、S-SMF網は、世界中に広がっている。この光ファイバ網を用いて $1.55\mu\text{m}$ 帯の伝送を行うと、この $1.55\mu\text{m}$ 帯では、約 $+17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散が生じる。そのため、この光ファイバを用いて信号を伝送すると、長距離伝送では累積した波長分散の影響で伝送特性が大きく劣化する。また、S-SMFよりも $1.55\mu\text{m}$ 帯で波長分散が小さなNZ-DSFも主に長距離伝送路を中心に敷設されているが、同様に伝送路で蓄積した波長分散

を補償する必要がある。

さらに、現在は、通信容量の増大に伴い、波長多重 (Wavelength Division Multiplexing、以下、「WDM」と略記する。) 伝送の開発が進められ、既に多くの伝送路でWDM伝送が実用化されている。WDM伝送の際には、使用する波長帯全域にわたって許容される波長分散を小さくする必要がある。そのために、波長分散だけではなく、分散スロープの補償も必要となる。図4に伝送用光ファイバ、分散補償光ファイバ、および分散補償後の残留分散特性を示す。分散補償光ファイバの分散スロープが伝送用光ファイバの分散スロープと逆の符号であると、広帯域で残留分散が小さくなることが分かる。この分散スロープ補償の性能を示す指標にRDSがある。RDSは、波長分散に対する分散スロープの比 (RDS ; Relative Dispersion Slope) である。波長分散をD、分散スロープをSとすると、RDSは下記式(1)のように表すことができる。

$$RDS = S / D \quad (1)$$

広帯域で残留分散を小さくするためには、伝送用光ファイバの波長分散とは分散の符号が逆であり、RDSができるだけ近い値をとる必要がある。

このような分散補償光ファイバモジュールとしては、例えば、特開平6-11620号公報には、波長1.3 μm 帯に零分散波長を有する標準シングルモード光ファイバの波長分散を1.55 μm 帯で補償する-20 ps/nm/km以下の波長分散を有する分散補償光ファイバの技術が開示されている。また、特開平11-95056号公報では、接続損失を低減しながら、分散スロープを低減し、単位長さ当りの波長分散の絶対値を大きくした分散補償光ファイバの技術が開示されている。

また、特開平8-136758号公報には、分散スロープがマイナスで、波長分散を-100 ps/nm/km以下とした分散補償光ファイバの技術が開示されている。

一方、特開平8-54546号公報には、図2のような被覆構造を有する光ファイバにおいて外径が125 μm より小さい光ファイバ裸線 (クラッド) の周上に、ヤング率0.1 kgf/mm²以下の1次被覆層を有し、この1次被覆層の周上にヤング率150 kgf/mm²以上の2次被覆層を有する細径光ファイバ

が示されており、この特開平 8-54546 号公報の実施例 6 には $60\ \mu\text{m}$ クラッド、 $160\ \mu\text{m}$ 被覆、 $-80.0\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の細径分散補償光ファイバが開示されている。

また、特開平 10-115725 号公報または米国特許第 5、887、104 号明細書にも、伝送波長において波長分散を有する光ファイバに接続して、前記波長分散を相殺し、伝送波長における伝送システム全体の波長分散を実質的に零にする、または零に近づけるための分散補償光ファイバであって、石英系ガラスからなるコアと、このコアの外周に形成された、石英系ガラスからなるクラッドと、このクラッドの外周に形成されたプラスチック樹脂からなる被覆層とを具備するとともに $250\ \mu\text{m}$ より小さい外径を有し、前記被覆層は $20\ \mu\text{m}$ 以上の厚さを有し、内層とこの内層よりも高いヤング率の外層とを含む少なくとも 2 層以上の多層構造を有する分散補償光ファイバの技術が開示されており、この特開平 10-115725 号公報または米国特許第 5、887、104 号明細書の実施例にはクラッド外径が $60\ \mu\text{m} \sim 125\ \mu\text{m}$ 、被覆外径が $110\ \mu\text{m} \sim 250\ \mu\text{m}$ 、波長分散が $-105\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 前後の細径分散補償光ファイバが開示されている。

また、小川直人他、“小型分散補償器用分散補償光ファイバ”、電子情報通信学会 1999 年総合大会講演論文集、1999 年 3 月 25 日、通信 2、B-13-4、p 585 にも、波長分散が $-102\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km} \sim -110\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、クラッド外径が $90\ \mu\text{m} \sim 125\ \mu\text{m}$ 、被覆外径が $150\ \mu\text{m} \sim 185\ \mu\text{m}$ の細径分散補償光ファイバを試作し、側圧による損失増加および強度の点で問題がないことが報告されている。

このような分散補償光ファイバは、伝送用光ファイバの $1/5 \sim 1/7$ 程度の長さをコイルに巻き込みケースに入れてモジュール化されるが、一つの分散補償光ファイバモジュールで $120\ \text{km}$ 程度の伝送用光ファイバの累積分散を補償するときは、必要な分散補償光ファイバの長さは $20\ \text{km}$ 前後であり、非常に長い分散補償光ファイバを巻き込む必要がある。

しかし、モジュールのサイズは必要分散補償量によらずに一定の大きさであることが望ましく、補償する分散量の絶対値が大きな場合でも小さなケースに多く

の分散補償光ファイバを巻き込む必要がある。さらに、伝送装置自体を小さくするためにも、この分散補償光ファイバモジュールはできるだけ小型であることが望ましい。

モジュールの体積は、分散補償光ファイバの巻き込み体積に依存する。この巻き込み体積は、被覆を含む断面積と分散補償光ファイバの条長の積で表される。

そのため、モジュールを小型化するためには、特開平 8-54546 号公報や特開平 10-115725 号公報または米国特許第 5、887、104 号明細書に開示されているように、分散補償光ファイバを細径化することが有効である。

これまでの分散補償光ファイバの開発は、伝送損失を劣化させない範囲で単位長さ当りの波長分散の絶対値を大きくし、光学特性、信頼性を劣化させないように、許容される範囲内で光ファイバの細径化を進めてきた。しかし、前述の公報、および学会報告の技術では、モジュール損失の温度特性を安定させ、かつ使用波長範囲の全てにわたって曲げ損失に起因する損失増を抑えながらモジュールの小型化を進めるためには不十分であった。

発明の開示

本発明は、上述の課題を解決するためになされたもので、従来の分散補償光ファイバモジュールに対して体積比で半分以下となるような小型の分散補償光ファイバモジュールについて、低損失、低 PMD、かつ安定した温度特性を有するようになるために考え出されたものであり、胴径 90 mm 以下の小型コイルに巻き込んで、分散補償光ファイバモジュールを作製しても、通常使用される温度範囲（ $-5^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ）において、モジュール損失の変動が $\pm 0.5 \text{ dB}$ 以下である分散補償光ファイバを提供することを目的とする。

以上の課題を解決するために、本願の第 1 実施態様における発明は、 $1.53 \mu\text{m} \sim 1.63 \mu\text{m}$ から選択された少なくとも 1 つ以上の波長において、曲げ直径 20 mm で巻いたときの曲げ損失が 5 dB/m 以下、波長分散が -120 ps/nm/km 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が 200 ps/nm/dB 以上であり、使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53 \mu\text{m}$ 以下であり、クラッド外径が $80 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 、被覆外径が $160 \mu\text{m}$

m \sim 200 μ mであり、被覆樹脂表面の粘着性が10gf/mm以下であることを特徴とする分散補償光ファイバである。

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する損失増や、特にマイクロベンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することが可能であり、小型コイルに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製しても、通常使用される温度範囲（ $-5^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ）において、モジュール損失の変動が $\pm 0.5\text{ dB}$ 以下という安定した温度特性を有する分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

ここで、粘着性とは、光ファイバ同士の接合の度合いとして定義されるものであり、例えばその測定方法は、特開平10-62301号公報において開示されているように、送出ロール上に互いに重なりあった状態で多数回巻き回された光ファイバ素線を一定張力で巻取り、この巻取り時に光ファイバ素線に掛かる張力変化から測定するものである。

本願の第2実施態様における発明は、分散補償光ファイバの被覆樹脂表面の粘着性が1gf/mm以下であることを特徴とする分散補償光ファイバである。

これにより、さらに周囲の温度変動に対して安定した損失特性を有する分散補償光ファイバを実現することができる。

本願の第3実施態様における発明は、分散補償光ファイバのクラッドの外周上に設けられた1次被覆層のヤング率が0.15kgf/mm²以下であり、1次被覆層の厚さが20 μ m \sim 30 μ mであり、この1次被覆層の外周上に設けられた2次被覆層のヤング率が50kgf/mm²以上であり、2次被覆層の厚さが15 μ m \sim 30 μ mであることを特徴とする分散補償光ファイバである。

これにより、小型リールに巻き込んでも、巻き込みによるモジュール損失の劣化が小さく、特にマイクロベンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバモジュールを高い信頼性を維持しながら実現することができる。

本願の第4実施態様における発明は、少なくともコアとその外周上に設けられたクラッドとを備え、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が $+1.6\%$ ～ $+2.6\%$ 、クラッドに対する中間コア部の比屈折率差が -0.30% ～ -1.4% 、クラッドに対するリングコア部の比屈折率差が $+0.30\%$ ～ $+1.0\%$ であり、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比が $1.5\sim 3.5$ 、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比が $1.2\sim 2.0$ 、コア半径が $4\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することができる。

なお、これらの各層の比屈折率差、および中心コア部半径に対する中間コア部半径の比や中間コア部半径に対するリングコア部半径の比がこれらの範囲であっても、本発明の分散補償光ファイバが得られるとは限らない。このような観点から、本発明では構造パラメータと共に分散補償光ファイバの特性値によっても特定を行うようにしたものである。

本願の第5実施態様における発明は、少なくともコアとその外周上に設けられたクラッドとを備え、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が $+1.6\%$ ～ $+2.6\%$ 、クラッドに対する中間コア部の比屈折率差が -0.30% ～ -1.4% であり、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比が $1.5\sim 3.5$ 、コア半径が $4\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することができる。

なお、これらの各層の比屈折率差、および中心コア部半径に対する中間コア部半径の比がこれらの範囲であっても、本発明の分散補償光ファイバが得られるとは限らない。このような観点から、本発明では構造パラメータと共に分散補償光ファイバの特性値によっても特定を行うようにしたものである。

本願の第6実施態様における発明は、 $1.53\mu\text{m} \sim 1.57\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0026\text{nm}^{-1} \sim 0.010\text{nm}^{-1}$ であることを特徴とする。

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールを収納することが可能であり、かつ $1.53\mu\text{m} \sim 1.57\mu\text{m}$ におけるRDSが $0.0026\text{nm}^{-1} \sim 0.010\text{nm}^{-1}$ であるため、典型的に $1.55\mu\text{m}$ で 0.0034nm^{-1} のRDSを有するS-SMFや、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で 4ps/nm/km 前後の波長分散を有し、典型的なRDSとして $0.007\text{nm}^{-1} \sim 0.010\text{nm}^{-1}$ のRDSを有するNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

本願の第7実施態様における発明は、 $1.53\mu\text{m} \sim 1.57\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0026\text{nm}^{-1} \sim 0.0041\text{nm}^{-1}$ であることを特徴とする。

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつRDSが $0.0026\text{nm}^{-1} \sim 0.0041\text{nm}^{-1}$ であるため、典型的に 0.0034nm^{-1} のRDSを有するS-SMF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

本願の第8実施態様における発明は、 $1.57\mu\text{m} \sim 1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0022\text{nm}^{-1} \sim 0.010\text{nm}^{-1}$ であることを特徴とする。

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつ $1.57\mu\text{m} \sim 1.63\mu\text{m}$ におけるRDSが $0.0022\text{nm}^{-1} \sim 0.010\text{nm}^{-1}$ であるため、典型的に $1.59\mu\text{m}$ で 0.0029nm^{-1} のRDSを有するS-SMFや、 $1.59\mu\text{m}$ 帯で数 ps/nm/km 前後の波長分散を有し、典型的なRDSとして

$0.005 \text{ nm}^{-1} \sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ のRDSを有するNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

本願の第9実施態様における発明は、 $1.57 \mu\text{m} \sim 1.63 \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0022 \text{ nm}^{-1} \sim 0.0035 \text{ nm}^{-1}$ であることを特徴とする。

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつ $1.57 \mu\text{m} \sim 1.63 \mu\text{m}$ におけるRDSが $0.0022 \text{ nm}^{-1} \sim 0.0035 \text{ nm}^{-1}$ であるため、典型的に $1.59 \mu\text{m}$ で 0.0029 nm^{-1} のRDSを有するS-SMF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

図面の簡単な説明

図1A～Cは本発明の分散補償光ファイバの屈折率分布の一例を示す図である。

図2は本発明の分散補償光ファイバの被覆層の構造を示す断面図である。

図3は伝送速度と許容される波長分散の関係を示すグラフである。

図4は伝送用光ファイバ、分散補償光ファイバおよび分散補償後の残留分散特性を示すグラフである。

図5は曲げ損失を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールの損失波長特性を示すグラフである。

図6は曲げ損失を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールのモジュール損失の温度特性を示すグラフである。

図7はクラッド外径を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールのモジュール損失波長特性を示すグラフである。

図8は表面粘着性を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールのモジュール損失の温度特性を示すグラフである。

図9は被覆層のヤング率、被覆厚を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールの損失波長特性を示すグラフである。

図10はRDSの異なる分散補償光ファイバモジュールにより、S-SMF 1

00 kmの累積波長分散を補償したときの残留分散特性を示すグラフである。

図11はRDSの異なる分散補償光ファイバモジュールにより、S-SMF100 kmの累積波長分散を補償したときの残留分散特性を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を詳細に説明する。

図1(a)、(b)、(c)に、本発明の分散補償光ファイバの屈折率分布の一例を示す。

図1(a)、(b)において、符号1aは中心コア部、符号1bは中心コア部1aの外周上に設けられた中間コア部、符号2は中間コア部1bの外周に設けられたクラッドである。また、図1(c)において、符号1aは中心コア部、符号1bは中心コア部1aの外周上に設けられた中間コア部、符号1cは中間コア部1bの外周上に設けられたリングコア部、符号2はリングコア部1cの外周に設けられたクラッドである。

図1(a)、(b)、(c)中、中心コア部1aの半径をa、中間コア部1bの半径をb、リングコア部1cの半径をcとし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差を $\Delta 1$ 、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差を $\Delta 2$ 、クラッド2に対するリングコア部1cの比屈折率差を $\Delta 3$ としている。

中心コア部1aはクラッド2の屈折率より大きい屈折率を有し、中間コア部1bはクラッド2の屈折率より小さい屈折率を有し、リングコア部1cはクラッド2の屈折率より大きい屈折率を有する。

本発明の分散補償光ファイバの第1の例は、図1(c)に示すリング付きW型プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を1.5～3.5とし、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比 c/b を1.2～2.0とし、コア半径を $4\mu\text{m}$ ～ $8\mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を+1.6%～+2.6%、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.30%～-1.4%、クラッド2に対するリングコア部1cの比屈折率差 $\Delta 3$ を-0.30%～+1.0%として形成されている。

また、この例の分散補償光ファイバは、これらの構成に加えて以下のような特性値によって特定される。その特性値とは、 $1.53\mu\text{m} \sim 1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径 20mm で巻いたときの曲げ損失が $5\text{dB}/\text{m}$ 以下、波長分散が $-120\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が $200\text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 以上の範囲にあり、かつ使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53\mu\text{m}$ 以下であり、クラッド外径が $80\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 、被覆外径が $160\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ であり、被覆樹脂表面の粘着性が $10\text{gf}/\text{mm}$ 以下、好ましくは $1\text{gf}/\text{mm}$ 以下となるようにすることである。なお、波長分散は、屈折率分布制御範囲や曲げ損失などの観点から、 $-300\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上程度が製造可能な範囲であり、単位損失当たりの波長分散の絶対値は伝送損失の値などから $500\text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 程度までが製造可能な範囲である。

この分散補償光ファイバの被覆層の構造を図2に示す。

図2中、符号1はコアであり、符号2はコア1の周囲に形成されたクラッドである。このクラッド2の外周に1次被覆層3が形成され、この1次被覆層3の外周に2次被覆層4が形成されている。1次被覆層3のヤング率は $0.15\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以下であることが好ましい。また、2次被覆層4のヤング率は $50\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上であることが好ましい。

被覆層のそれぞれの主な役割は、ガラス表面に直接施した1次被覆層は緩衝材として、2次被覆層は光ファイバ強度を維持するためである。そのため、1次被覆層、2次被覆層は共に厚い方が望ましいが、厚くしてしまうと分散補償光ファイバを細径化して小型の分散補償光ファイバモジュールを提供するという目的を実現することができなくなってしまう。また、1次被覆層のヤング率が $0.15\text{kgf}/\text{mm}^2$ を超えると、外部の影響が直接光ファイバに影響を与えてしまい、マイクロバンド損失などが生じ、伝送損失を劣化させてしまう。さらに、2次被覆層のヤング率が $50\text{kgf}/\text{mm}^2$ 未満では、光ファイバの強度を十分に保つことができない。これらの値は各層の厚みとも関係し、1次被覆層の厚さは $20\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$ であり、2次被覆層の厚さが $15\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$ であることが望ましいので、これらの関係を式で示すと、下記式(2)、(3)のようになり、フ

ファイバ強度の観点から、これらの式の条件を満たした範囲のヤング率の樹脂を用いることが望ましい。

$$0.06 \times 10^{-3} \leq S_1 \times E_1 \leq 1.3 \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$0.3 \leq S_2 \times E_2 \leq 3.0 \quad (3)$$

ここで、 S_1 は1次被覆層の断面積 [mm^2]、 E_1 は1次被覆層のヤング率 [kgf/mm^2]、 S_2 は2次被覆層の断面積 [mm^2]、 E_2 は2次被覆層のヤング率 [kgf/mm^2]である。

この分散補償光ファイバは、クラッド2の外径を $80 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ とし、1次被覆層3と2次被覆層4とからなる被覆外径を $160 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ とすることが好ましい。

クラッド2の外径が $100 \mu\text{m}$ を超えると、必要な被覆厚を確保しようとする、必然的に被覆外径も太くなってしまい、小型モジュールを提供する目的と合わなくなる。一方、クラッド2の外径が $80 \mu\text{m}$ 未満では、クラッド厚が薄くなり過ぎて、マイクロベンドなどの影響を受け易くなり、損失特性が劣化する。被覆厚を厚くすることでその影響は低減することができるが、 $80 \mu\text{m}$ 未満では、曲げ損失などの特性もさらに小さくする必要があり、曲げ損失とトレードオフの関係にある分散特性も劣化してしまう。そのため、クラッド2の外径は $80 \mu\text{m}$ 以上が望ましい。

また、分散の絶対値が大きくなることで使用するファイバの短尺化を図ることができ、モジュールの小型化も可能とはなるが、1次被覆層3と2次被覆層4とからなる被覆外径が $200 \mu\text{m}$ を超える場合には、その効果は大きくない。一方、被覆外径が $160 \mu\text{m}$ 未満では、1次被覆層、2次被覆層の被覆厚が薄くなり過ぎて、マイクロベンドなどの影響を受け易くなったり、光ファイバ自体の強度の劣化を生じてしまったりする。

また、単に細径化した分散補償光ファイバを巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製すると、表面粘着性によりモジュール損失の温度特性が劣化するが、表面粘着性を 10 gf/mm 以下、好ましくは 1 gf/mm 以下にすることにより、小型コイルに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製しても、通常使用される温度範囲 ($-5^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$) において、モジュール損失の変動

が ± 0.5 dB以下という安定した温度特性を有する分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

この粘着性を低減させる方法としては、シリコン成分を1～5 wt %含む紫外線硬化型樹脂を用いるか、紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を2%以下、好ましくは0%とすることである。

このような構成とすることにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失やマイクロベンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することが可能であり、小型コイルに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製しても、通常使用される温度範囲($-5^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$)において、モジュール損失の変動が ± 0.5 dB以下という安定した温度特性を有する分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

本発明の分散補償光ファイバの第2の例は、図1 (a)、(b)に示すW型屈折率プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を1.5～3.5とし、コア半径を $4\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1 aの比屈折率差 $\Delta 1$ を $+1.6\%\sim +2.6\%$ 、クラッド2に対する中間コア部1 bの比屈折率差 $\Delta 2$ を $-0.30\%\sim -1.4\%$ として形成されている。

また、この例の分散補償光ファイバは、これらの構成に加えて以下のような特性値によって特定される。その特性値とは、 $1.53\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径20 mmで巻いたときの曲げ損失が5 dB/m以下、波長分散が -120 ps/nm/km 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が 200 ps/nm/km 以上であり、かつ使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53\mu\text{m}$ 以下であり、クラッド外径が $80\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 、被覆外径が $160\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ であり、被覆樹脂表面の粘着性が 10 gf/mm 以下、好ましくは 1 gf/mm 以下となるようにすることである。

このような構成とすることにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損

失が低く、曲げ損失や特にマイクロベンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することができる。

PMDについては、上述した第1と第2のいずれの例においても、 $0.3 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$ 以下とすることが好ましく、 $0.2 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$ 以下とすることがより好ましい。

PMDとは、シングルモード光ファイバのコアの楕円化などによってモードの縮退が解け、2つの直交する偏波モード間に群遅延差が生じるために起こる分散であり、従来の通信速度では無視できていたためにあまり問題とされていなかったが、大容量光通信システムにおいては、伝送特性の劣化要因の1つとなっている。PMDの伝送距離制限は以下の式(4)で示すことができる。

$$B \cdot \text{PMD} \cdot \sqrt{L} < 100 \quad (4)$$

ここで、 B は伝送速度 [Gb/s] であり、PMDは偏波モード分散 [$\text{ps} / \sqrt{\text{km}}$]、 L はファイバ長 [km] である。要求されるPMDの値は伝送速度、伝送距離により異なるが、伝送システム自体の将来のアップグレード（例えば伝送速度の向上など）を想定した場合、できる限り低くしておく必要がある。

本発明の分散補償光ファイバの第3の例は、図1(a)、(b)に示すW型屈折率プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を $1.5 \sim 3.5$ とし、コア半径を $4 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を $-0.30\% \sim -1.4\%$ として形成されているか、または、図1(c)に示すリング付きW型プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を $1.5 \sim 3.5$ とし、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比 c/b を $1.2 \sim 2.0$ とし、コア半径を $4 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を $-0.30\% \sim -1.4\%$ 、クラッド2に対するリングコア部1cの比屈折率差 $\Delta 3$ を $+0.30\% \sim +1.0\%$ として形成されている。また、この例の分散補償光ファイバは、これらの特性値によって特定される。その特性値とは、 1.5

$3\ \mu\text{m} \sim 1.57\ \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径 $20\ \text{mm}$ で巻いたときの曲げ損失が $5\ \text{dB}/\text{m}$ 以下、波長分散が $-120\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値は $200\ \text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 以上であり、使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53\ \mu\text{m}$ 以下であり、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0026\ \text{nm}^{-1} \sim 0.010\ \text{nm}^{-1}$ であり、クラッド外径が $80\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 、被覆外径が $160\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ であるようにすることである。

このような分散補償光ファイバを用いることで、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失や特にマイクロバンドに起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、典型的に $1.55\ \mu\text{m}$ で $0.0034\ \text{nm}^{-1}$ のRDSを有するS-SMFや、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯で典型的なRDSとして $0.007\ \text{nm}^{-1} \sim 0.010\ \text{nm}^{-1}$ のRDSを有するNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

本発明の分散補償光ファイバの第4の例は、図1(a)、(b)に示すW型屈折率プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を $1.5 \sim 3.5$ とし、コア半径を $4\ \mu\text{m} \sim 8\ \mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を $-0.30\% \sim -1.4\%$ として形成されているか、または、図1(c)に示すリング付きW型プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を $1.5 \sim 3.5$ とし、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比 c/b を $1.2 \sim 2.0$ とし、コア半径を $4\ \mu\text{m} \sim 8\ \mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を $-0.30\% \sim -1.4\%$ 、クラッド2に対するリングコア部1cの比屈折率差 $\Delta 3$ を $+0.30\% \sim +1.0\%$ として形成されている。また、この例の分散補償光ファイバは、これらの特性値によって特定される。その特性値とは、 $1.57\ \mu\text{m} \sim 1.63\ \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径 $20\ \text{mm}$ で巻いたときの曲げ損失が $5\ \text{dB}/\text{m}$ 以下、波長分散が $-120\ \text{ps}$

$s / nm / km$ 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が $200 ps / nm / km$ 以上であり、使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.57 \mu m$ 以下であり、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0022 nm^{-1} \sim 0.010 nm^{-1}$ であり、クラッド外径が $80 \mu m \sim 100 \mu m$ 、被覆外径が $160 \mu m \sim 200 \mu m$ であるようにすることである。

このような分散補償光ファイバを用いることで、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつ $1.57 \mu m \sim 1.63 \mu m$ におけるRDSが $0.0022 nm^{-1} \sim 0.010 nm^{-1}$ であるため、典型的に $1.59 \mu m$ で $0.0029 nm^{-1}$ のRDSを有するS-SMFや、 $1.59 \mu m$ 帯で数 $ps / nm / km$ 前後の波長分散を有し、典型的なRDSとして $0.005 nm^{-1} \sim 0.010 nm^{-1}$ のRDSを有するNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

また、上述の分散補償光ファイバを $30 g$ から $50 g$ の間の巻き張力で最小胴径 $90 mm$ 以下のリールに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを形成することにより、巻き崩れによるモジュール損失の劣化や、PMDの劣化を防ぐことができ、また、マイクロベンドによるモジュール損失の劣化を低減することができるので、振動衝撃や温度変動に対して安定した特性を有する小型の分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

以下、具体例な試験例を示す。

(試験例1)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(b)のようなW型プロファイルや、図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径、クラッド外径、1次被覆外径、2次被覆外径は表1に示す値となるようにし、紡糸時に紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を 0.1% 以下(表示値 0.0%)となる条件で製造した。

なお、No. 1の分散補償光ファイバは、比較のために従来のクラッド外径、

被覆構造にて製造したものであり、No. 2～No. 6の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例である。

表 1

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
1	1.70	-0.40	0.35	3.5	1.4	6.7	125	200	250	0.1
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
3	2.00	-0.72	0.36	2.7	1.5	6.4	80	125	165	0.1
4	2.60	-1.40	—	2.0	—	4.4	100	140	180	0.1
5	2.40	-1.30	—	2.0	—	4.7	100	160	200	0.1
6	2.20	-0.70	—	2.5	—	5.7	100	130	160	0.1

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 2 に示す。

これらの分散補償光ファイバは、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径を表 1 に示す値とすることによって、光ファイバ単位長さ当りの波長分散の絶対値を大きくし、曲げ損失を小さくすることができた。また、外径 $80\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ のクラッドの外周に、ヤング率が 0.15kgf/mm^2 以下の 1 次被

覆層と、ヤング率が 50 kgf/mm^2 以上の 2 次被覆層を形成した。

この分散補償光ファイバの被覆外径は $160 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ と細いので、小型モジュール化が可能である。また、これらの分散補償光ファイバを 40 g の巻き張力で胴径 80 mm の小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き $1.3 \mu\text{m}$ 帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性とモジュールサイズを表 3 に示す。これらの分散補償光ファイバモジュールは S-SMF 100 km 補償用である。

表 2

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
1	1.55	0.35	-91	260	0.08	0.4
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
3	1.55	0.52	-148	285	0.08	0.2
4	1.55	0.65	-214	329	0.22	1.0
5	1.55	0.62	-157	253	0.12	0.8
6	1.55	0.50	-147	294	0.08	3.3

表 3

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
1	モジュール1	8.0	-1700	230	230	45	—
2	モジュール2	7.4	-1710	215	215	21	41
3	モジュール3	6.8	-1703	190	190	21	32
4	モジュール4	7.0	-1650	170	170	21	25
5	モジュール5	6.9	-1700	205	205	21	37
6	モジュール6	6.8	-1703	178	178	21	28

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

表 3 から、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて体積比で 50 % 以下の小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現していることが分かる。

(試験例 2)

VAD 法、MCVD 法、PCVD 法などの公知の方法により、図 1 (c) のようなリング付き W 型プロファイルの分散補償光ファイバを 4 種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径は表 4 に示す値となるよう

にし、紡糸時に紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を 0.1% 以下（表示値 0.0%）となる条件で製造した。

なお、No. 7～No. 9 の分散補償光ファイバは、比較のために従来の分散特性を有するように製造したものであり、No. 2 の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例である。

表 4

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
7	1.60	-0.35	0.30	2.7	1.5	5.3	90	135	175	0.1
8	1.60	-0.30	0.30	2.7	1.5	5.2	90	135	175	0.1
9	1.50	-0.30	0.30	2.7	1.5	5.6	90	135	175	0.1

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 5 に示す。

これらの分散補償光ファイバは、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径を表4に示す値とすることによって、曲げ損失は変化させずに波長分散の値を変化させた。クラッド外径、1次被覆層のヤング率と厚さ、2次被覆層のヤング率と厚さは同一である。

これらの分散補償光ファイバを40 gの巻き張力で胴径80 mmの小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化した。モジュール分散はS-SMF100 km補償用に相当する-1700 ps/nmである。作製したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性とモジュールサイズを表6に示す。

表 5

No.	波長 (μ m)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ \sqrt km)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
7	1.55	0.42	-90	214	0.07	5.0
8	1.55	0.38	-83	218	0.12	2.8
9	1.55	0.33	-77	233	0.15	1.1

表 6

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)	体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1700	205 205 21	37
7	モジュール7	8.9	-1700	230 230 21	47
8	モジュール8	8.8	-1700	240 240 21	51
9	モジュール9	8.3	-1700	245 245 21	53

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

表 6 から、波長分散が -90 ps/nm/km の分散補償光ファイバ No. 7 を用いた分散補償光ファイバモジュールは従来のモジュールに対して体積比で 47% であり、 -83 ps/nm/km の分散補償光ファイバ No. 8 や、 -77 ps/nm/km の分散補償光ファイバ No. 9 を用いた分散補償光ファイバモジュール No. 8 や No. 9 は、従来のモジュールに対して体積比で 50% 以上であり、小型化が不十分であることが分かる。これらの結果から波長分散の絶対値は少なくとも 120 ps/nm 以上 (-120 ps/nm/km 以下) が必要であることが分かる。

(試験例 3)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1 (b) のようなW型プロファイルや、図1 (c) のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを5種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径、クラッド外径、1次被覆外径、2次被覆外径は表7に示す値となるようにし、紡糸時に紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を0.1%以下（表示値0.0%）となる条件で製造した。

なお、No. 12、No. 13の分散補償光ファイバは、比較のために従来の曲げ損失にて製造したものであり、No. 2、No. 10、No. 11の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例である。

表 7

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
10	1.90	-0.38	0.35	3.5	1.4	6.5	90	135	175	0.1
11	1.70	-0.45	0.35	3.3	1.5	6.6	90	135	175	0.1
12	1.95	-0.35	0.40	2.7	1.5	4.5	90	135	175	0.1
13	2.20	-0.70	—	2.5	—	5.6	90	135	175	0.1

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 8 に示す。

これらの分散補償光ファイバは、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径を表 8 に示す値とすることによって、曲げ損失を変化させて作製した。クラッド外径、1 次被覆層のヤング率と厚さ、2 次被覆層のヤング率と厚さは同一である。

これらの分散補償光ファイバを 40 g の巻き張力で胴径 80 mm の小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き 1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファ

イバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性を表 9 に示す。

また、これらのモジュールの損失波長特性を図 5 に、モジュール損失の温度特性を図 6 に示す。

表 8

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
10	1.55	0.40	-125	313	0.08	2.8
11	1.55	0.40	-128	320	0.08	4.4
12	1.55	0.42	-123	293	0.12	5.2
13	1.55	0.50	-160	320	0.10	11.6

表 9

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1700	205	205	21	37
10	モジュール10	6.4	-1700	205	205	21	37
11	モジュール11	6.8	-1703	200	200	21	35
12	モジュール12	7.0	-1700	230	230	21	47
13	モジュール13	6.9	-1700	185	185	21	30

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

表 9 では、モジュール損失は同等であるが、図 5 より曲げ損失が大きくなると長波長側に急激な損失増があり、曲げ損失が 5 dB/m を超えると、使用波長範囲内において大きな損失があることが分かる。このような損失劣化があっても使用する波長範囲を限定することにより、モジュールとして使用することは可能であるが、5 dB/m を超えると損失劣化が大きくなり過ぎてしまい使用することはできない。

さらに、図 6 より、曲げ損失の大きな分散補償光ファイバモジュールのモジュール損失の温度特性は曲げ損失の増大と共に劣化していることが分かる。これら

のことから、本発明の分散補償光ファイバの曲げ損失は 5 dB/m 以下である必要がある。

(試験例 4)

VAD 法、MCVD 法、PCVD 法などの公知の方法により、図 1 (c) のようなリング付き W 型プロファイルの分散補償光ファイバを 6 種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径は表 10 に示す値となるように製造した。このとき、クラッド外径を $60 \mu\text{m}$ ~ $110 \mu\text{m}$ まで変化させた。1 次被覆層、2 次被覆層はそれぞれ $22.5 \mu\text{m}$ 、 $20 \mu\text{m}$ で一定とした。屈折率分布パラメータと共に表 10 に示す。

なお、No. 14、No. 15、No. 19 の分散補償光ファイバは、比較のために製造したものであり、No. 2、No. 16 ~ No. 18 の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例である。

表 1 0

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
14	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	60	105	145	0.1
15	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	70	115	155	0.1
16	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	80	125	165	0.1
17	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
18	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	100	145	185	0.1
19	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	110	155	195	0.1

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 1 1 に示す。同一の光学特性を示している。

これらの分散補償光ファイバを 40 g の巻き張力で胴径 80 mm の小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き 1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの特性を表 1 2 に示す。また、これらのモジュール損失波長特性を図 7 に示す。

表 1 1

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
14	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
15	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
16	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
17	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
18	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
19	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0

表 1 2

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1700	205	205	21	42
14	モジュール14	8.5	-1700	190	190	21	32
15	モジュール15	8.1	-1700	200	200	21	35
16	モジュール16	7.6	-1700	210	210	21	39
17	モジュール17	7.4	-1700	205	205	21	42
18	モジュール18	7.4	-1700	230	230	21	47
19	モジュール19	7.4	-1700	240	240	21	51

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

表 1 2 から、胴径 80 mm の小型リールに巻き込んだ場合、No. 14 と No. 15 の分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールは、従来のモジュールに比べて小型化されているが、モジュール損失が劣化していることが分かる。また、図 7 より、特に長波長側の損失劣化が顕著であることが分かる。クラッド外径が 100 μ m を超えた No. 18 の分散補償光ファイバを用いた時の分散補償光ファイバモジュールは、モジュール損失は劣化していないが、小型化が十分でないことが分かる。

これらのことから、クラッド外径は 80 μ m ~ 100 μ m が望ましいことが分

かる。

(試験例 5)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(c)のようないリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを5種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア径、クラッド径、1次被覆層のヤング率と厚さ、2次被覆層のヤング率と厚さは表13に示す値となるように一定で製造した。表面粘着性は、紡糸時に紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を0.1%以下～数%まで変化させることによって0.1～12 gf/mmまで変化させた。

なお、No. 2、No. 20～No. 22の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例であり、No. 23の分散補償光ファイバは、比較のために製造したものである。

表 1 3

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
20	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.3
21	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	3
22	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	9
23	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	12

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 1 4 に示す。

これらの分散補償光ファイバは、表面粘着性のみ異なり、その他の光学特性は同一であった。

これらの分散補償光ファイバを 40 g の巻き張力で胴径 80 mm の小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き 1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性およびモジュールサイズを表 1 5 に示す。また、これらのモジュールのモジュ

ール損失の温度特性を図 8 に示す。

表 1 4

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
20	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
21	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
22	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
23	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0

表 1 5

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1700	215	215	21	41
20	モジュール20	7.4	-1700	215	215	21	41
21	モジュール21	7.4	-1700	215	215	21	41
22	モジュール22	7.4	-1700	215	215	21	41
23	モジュール23	7.4	-1700	215	215	21	41

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

表 1 5 より、光学特性、モジュールサイズは同一であることが分かる。しかし、図 8 より、表面粘着性の値が大きくなるにしたがって、低温時のモジュール損失の劣化が大きくなることが分かる。分散補償光ファイバモジュールは環境温度の変化に対しても安定した光学特性を有する必要がある。一般的には、使用温度範囲として $-5^{\circ}\text{C} \sim +75^{\circ}\text{C}$ の範囲でモジュール損失の変動が $\pm 0.5 \text{ dB}$ 以下の変化であることが求められる。これらのことから、表面粘着性は 10 gf/mm 以下、好ましくは 1 gf/mm 以下であることが必要であるということが分かる。

(試験例 6)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(c)のようないリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径は表16に示す値となるように製造した。このとき、クラッド外径は一定としたが、各層の被覆層の厚さ、およびヤング率を変化させた。

なお、No. 2、No. 24およびNo. 28の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例であり、No. 25～No. 27、No. 29～No. 32の分散補償光ファイバは、比較のための従来の構造のものである。

表 1 6

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	一次 被覆厚 (μm)	一次被覆層 ヤング率 (kgf/mm ²)	二次被覆 外径 (μm)	二次 被覆厚 (μm)	二次被覆層 ヤング率 (kgf/mm ²)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	175	20	75
24	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.15	175	20	75
25	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.20	175	20	75
26	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	175	20	30
27	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	175	20	40
28	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	130	20	0.068	170	20	75
29	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	125	17.5	0.068	165	20	75
30	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	120	15	0.068	160	20	75
31	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	160	12.5	75
32	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	155	10	75

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 1 7 に示す。

これらの分散補償光ファイバは、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径が一定であるため、光学特性は同一であった。

ここで、これらの分散補償光ファイバをモジュール化する前に、スクリーニング試験を行った。スクリーニング試験とは、光ファイバに対して一定の伸び歪を光ファイバの長手方向に加えて、低強度部分を除去する試験のことである。分散補償光ファイバモジュールの信頼性試験を確保するために、使用する分散補償光ファイバには一定以上の強度が要求される。1%の伸び歪を1秒間加える試験を行ったところ、No. 26、27、31、32は数百mで断線してしまい、モジュールを作製するのに十分な長さ（例えば10km以上程度）を得ることが出来なかった。これは、No. 26、27では2次被覆層のヤング率が低く、また、No. 31、32では、2次被覆層の厚さが薄く、共に伸び歪に耐えられる強度が不足していたためである。

スクリーニング試験により必要なファイバ長が得られたNo. 2、24、25、28、29、30の分散補償光ファイバを40gの巻き張力で胴径80mmの小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性、およびモジュールサイズを表18に示す。また、これらのモジュールの損失波長特性を図9に示す。

表 1 7

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
24	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
25	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
26	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
27	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
28	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
29	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
30	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
31	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
32	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0

表 1 8

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)
2	モジュール2	7.4	-1700
24	モジュール24	8.0	-1700
25	モジュール25	8.0	-1700
26	モジュール26	—	—
27	モジュール27	—	—
28	モジュール28	8.0	-1700
29	モジュール29	8.2	-1700
30	モジュール30	8.2	-1700
31	モジュール31	—	—
32	モジュール32	—	—

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

表 1 8 から、1. $55 \mu\text{m}$ では大きな損失劣化がないことが分かるが、図 9 から、No. 25、29、30 の分散補償光ファイバを用いたモジュールでは長波長側でモジュール損失が劣化していることが分かる。これは、No. 25 では緩衝層の役割を果たす 1 次被覆層のヤング率が高いために、また、No. 29、30 では、1 次被覆層の厚みが薄いために側圧の影響がクラッドを介してコア部まで達してしまい、損失が劣化したからである。

これらのことから、1 次被覆層のヤング率は 0.15 kgf/mm^2 以下であり、1 次被覆層の厚さは $20 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ であり、2 次被覆層のヤング率は 50 kgf/mm^2 以上であり、2 次被覆層の厚さは $15 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ であることが必要であるということが分かる。

(試験例 7)

VAD 法、MCVD 法、PCVD 法などの公知の方法により、図 1 (b) のような W 型プロファイルや図 1 (c) のようなリング付き W 型プロファイルの分散補償光ファイバを 7 種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 $c/$

b、コア半径は表 19 に示す値となるように製造した。

なお、No. 2、No. 33～No. 37 の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例であり、No. 38 および No. 39 の分散補償光ファイバは、比較のために製造したものである。

表 19

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘性 (gf/mm)
2	2.00	-0.43	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
33	2.00	-0.72	0.36	2.7	1.5	6.4	80	125	165	0.1
34	2.60	-1.40	—	2.0	—	4.4	100	140	180	0.1
35	1.70	-0.40	0.35	3.5	1.4	6.7	90	135	175	0.2
36	1.70	-0.38	0.35	3.5	1.4	6.5	90	135	175	0.2
37	1.70	-0.45	0.35	3.3	1.5	6.6	90	135	175	0.2
38	2.00	-0.45	—	3.0	—	6.7	90	135	175	0.1
39	1.90	-1.40	0.45	2.7	1.5	5.8	90	135	175	0.1

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 20 に示す。

分散スロープ補償の性能を示す指標である RDS の値は、 0.0017 nm^{-1} ～ 0.0107 nm^{-1} であった。No. 33 の分散補償光ファイバは、NZ-DSF の波長分散補償光ファイバを補償する分散補償光ファイバである。これらの

分散補償光ファイバを40gの巻き張力で胴径80mmの小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの特性を表21に示す。また、No. 2、34、35、38、39の分散補償光ファイバを用いて作製した分散補償光ファイバモジュールを用いて分散補償を行ったときの分散曲線を図10に示す。

表20

No.	波長 (μ m)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	分散 スロープ (ps/nm ² /km)	RDS (nm ⁻¹)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ \sqrt km)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	-0.41	0.0034	267	0.08	1.0
33	1.55	0.52	-148	-1.00	0.0068	285	0.08	0.2
34	1.55	0.65	-214	-0.59	0.0028	329	0.22	1.0
35	1.55	0.35	-125	-0.45	0.0036	357	0.06	0.4
36	1.55	0.33	-128	-0.29	0.0023	388	0.08	2.8
37	1.55	0.40	-128	-0.38	0.0030	320	0.08	4.4
38	1.55	0.42	-123	-0.21	0.0017	293	0.08	4.9
39	1.55	0.52	-123	-1.32	0.0107	237	0.12	2.1

表 2 1

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1710	205	205	21	42
33	モジュール33	6.8	-1703	180	180	21	29
34	モジュール34	7.0	-1650	170	170	21	25
35	モジュール35	8.0	-1710	200	200	21	35
36	モジュール36	6.8	-1703	200	200	21	35
37	モジュール37	6.8	-1703	200	200	21	35
38	モジュール38	7.5	-1720	200	200	21	35
39	モジュール39	8.2	-1720	200	200	21	35

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

図10から、RDSの小さなNo. 38やRDSの大きなNo. 39では、使用波長帯の両端では残留分散が大きく、S-SMFの伝送距離が長くなると高速伝送を行うには残留分散が障害になることが分かる。

(試験例8)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(b)のようなW型プロファイルや図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを7種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/a

b、コア半径は表 2 2 に示す値となるように製造した。

なお、No. 40～No. 45 の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例であり、No. 46、No. 47 の分散補償光ファイバは、比較のために製造したものである。

表 2 2

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
40	2.00	-0.43	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
41	2.00	-0.72	0.36	2.7	1.5	6.4	80	125	165	0.1
42	2.60	-1.40	—	2.0	—	4.4	100	140	180	0.1
43	1.70	-0.40	0.35	3.5	1.4	6.7	90	135	175	0.2
44	1.70	-0.38	0.35	3.5	1.4	6.5	90	135	175	0.2
45	1.70	-0.45	0.35	3.3	1.5	6.6	90	135	175	0.3
46	2.00	-0.45	0.30	3.0	1.5	5.5	90	135	175	0.2
47	1.90	-1.40	0.55	2.9	1.5	5.5	90	135	175	0.2

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 2 3 に示す。

これらの分散補償光ファイバは伝送ファイバの L-band (波長 1.565 μm ～1.625 μm) における残留分散を補償するためのファイバであるので、

測定波長は $1.59 \mu\text{m}$ とした。分散スロープ補償の性能を示す指標である RDS の値は、 $0.0010 \text{ nm}^{-1} \sim 0.0133 \text{ nm}^{-1}$ であった。No. 41 の分散補償光ファイバは、NZ-DSF の波長分散補償光ファイバを補償する分散補償光ファイバである。

これらの分散補償光ファイバを 40 g の巻き張力で胴径 80 mm の小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き $1.3 \mu\text{m}$ 帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの特性を表 24 に示す。また、No. 42、44、45、46、47 の分散補償光ファイバを用いて作製した分散補償光ファイバモジュールを用いて分散補償を行ったときの分散曲線を図 11 に示す。

表 2 3

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	分散 スロープ (ps/nm ² /km)	RDS (nm ⁻¹)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
40	1.59	0.45	-128	-0.28	0.0022	284	0.12	1.0
41	1.59	0.52	-148	-1.00	0.0068	285	0.10	0.2
42	1.59	0.65	-214	-0.59	0.0028	329	0.10	1.0
43	1.59	0.35	-123	-0.29	0.0024	351	0.08	0.4
44	1.59	0.33	-125	-0.29	0.0023	379	0.08	2.8
45	1.59	0.40	-128	-0.38	0.0030	320	0.12	4.4
46	1.59	0.40	-120	-0.12	0.0010	300	0.07	4.4
47	1.59	0.40	-123	-1.63	0.0133	308	0.07	4.0

表 2 4

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
40	モジュール40	8.0	-1710	200	200	21	35
41	モジュール41	6.8	-1703	180	180	21	29
42	モジュール42	7.0	-1650	170	170	21	25
43	モジュール43	8.0	-1710	200	200	21	35
44	モジュール44	6.8	-1703	200	200	21	35
45	モジュール45	6.8	-1703	200	200	21	35
46	モジュール46	6.8	-1703	200	200	21	35
47	モジュール47	6.8	-1703	200	200	21	35

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュールに対する体積比

図11から、RDSの小さなNo. 46やRDSの大きなNo. 47では、使用波長帯の両端では残留分散が大きく、S-SMFの伝送距離が長くなると、高速伝送を行うには残留分散が障害になることが分かる。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明によれば、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、低PMDであり、曲げ損失に起因する損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であ

り、かつS-SMFやNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。特に、マイクロベンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、通常使用される温度範囲（ -5°C ～ $+70^{\circ}\text{C}$ ）においてモジュール損失が $\pm 0.5\text{ dB}$ 以下という安定した温度特性を有する分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

請求の範囲

1. 1. $53\ \mu\text{m}$ ～ $1.63\ \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径 $20\ \text{mm}$ で巻いたときの曲げ損失が $5\ \text{dB}/\text{m}$ 以下、波長分散が $-120\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が $200\ \text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 以上であり、使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53\ \mu\text{m}$ 以下であり、

クラッド外径が $80\ \mu\text{m}$ ～ $100\ \mu\text{m}$ 、被覆外径が $160\ \mu\text{m}$ ～ $200\ \mu\text{m}$ であり、被覆樹脂表面の粘着性が $10\ \text{gf}/\text{mm}$ 以下である分散補償光ファイバ。

2. 請求項1に記載の分散補償光ファイバであって、分散補償光ファイバの被覆樹脂表面の粘着性が $1\ \text{gf}/\text{mm}$ 以下である分散補償光ファイバ。

3. 請求項1または2に記載の分散補償光ファイバであって、前記クラッドの外周上に設けられた1次被覆層のヤング率が $0.15\ \text{kgf}/\text{mm}^2$ 以下であり、1次被覆層の厚さが $20\ \mu\text{m}$ ～ $30\ \mu\text{m}$ であり、この1次被覆層の外周上に設けられた2次被覆層のヤング率が $50\ \text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上であり、2次被覆層の厚さが $15\ \mu\text{m}$ ～ $30\ \mu\text{m}$ である分散補償光ファイバ。

4. 請求項1ないし3のいずれかに記載の分散補償光ファイバであって、少なくとも中心コア部、中間コア部およびリングコア部からなるコアと、その外周上に設けられたクラッドとを備え、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が $+1.6\%$ ～ $+2.6\%$ 、クラッドに対する中間コア部の比屈折率差が -0.30% ～ -1.4% 、クラッドに対するリングコア部の比屈折率差が $+0.30\%$ ～ $+1.0\%$ であり、

中心コア部半径に対する中間コア部半径の比が 1.5 ～ 3.5 、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比が 1.2 ～ 2.0 、コア半径が $4\ \mu\text{m}$ ～ $8\ \mu\text{m}$ である分散補償光ファイバ。

5. 請求項1ないし3のいずれかに記載の分散補償光ファイバであって、少なくとも中心コア部および中間コア部からなるコアと、その外周上に設けられたクラッドとを備え、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッドに対する中間コア部の比屈折率差が $-0.30\% \sim -1.4\%$ であり、

中心コア部半径に対する中間コア部半径の比が $1.5 \sim 3.5$ 、コア半径が $4 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$ である分散補償光ファイバ。

6. 請求項1ないし5のいずれかに記載の分散補償光ファイバであって、 $1.53 \mu\text{m} \sim 1.57 \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0026 \text{ nm}^{-1} \sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ である分散補償光ファイバ。

7. 請求項1ないし5のいずれかに記載の分散補償光ファイバであって、 $1.53 \mu\text{m} \sim 1.57 \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0026 \text{ nm}^{-1} \sim 0.0041 \text{ nm}^{-1}$ である分散補償光ファイバ。

8. 請求項1ないし5のいずれかに記載の分散補償光ファイバであって、 $1.57 \mu\text{m} \sim 1.63 \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0022 \text{ nm}^{-1} \sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ である分散補償光ファイバ。

9. 請求項1ないし5のいずれかに記載の分散補償光ファイバであって、 $1.57 \mu\text{m} \sim 1.63 \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0022 \text{ nm}^{-1} \sim 0.0035 \text{ nm}^{-1}$ である分散補償光ファイバ。

1/10

図 1 A

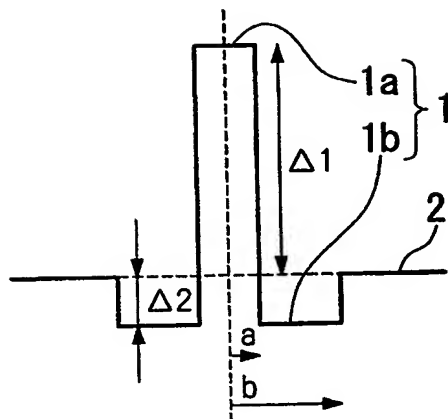


図 1 B

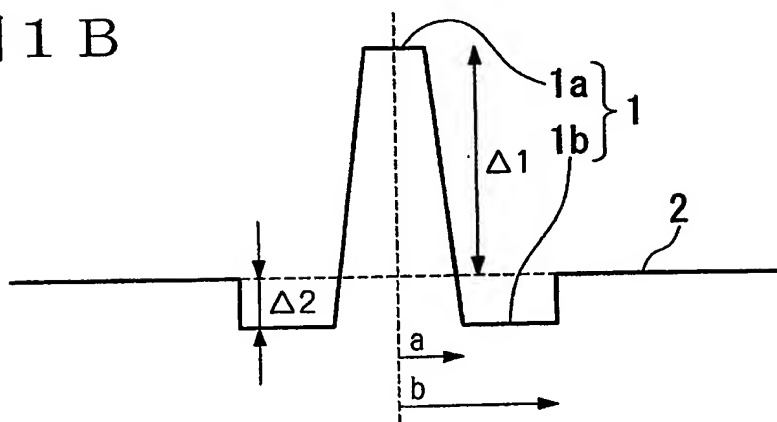
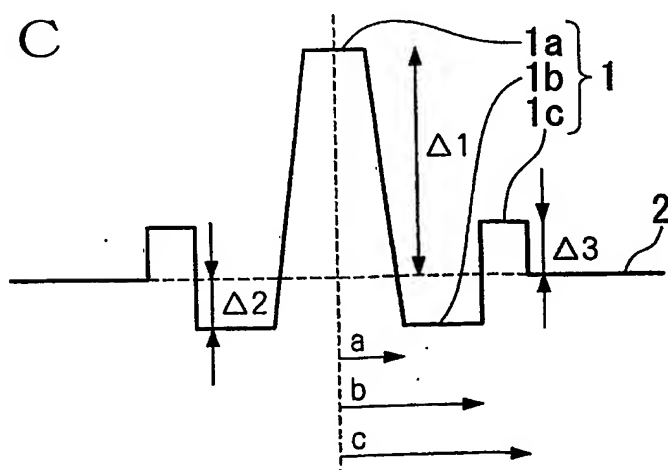


図 1 C



2/10

図 2

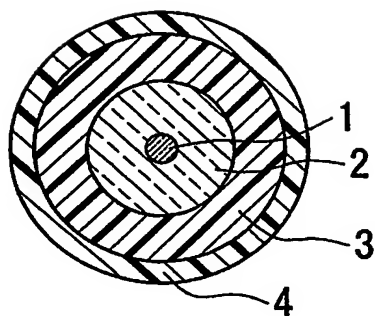
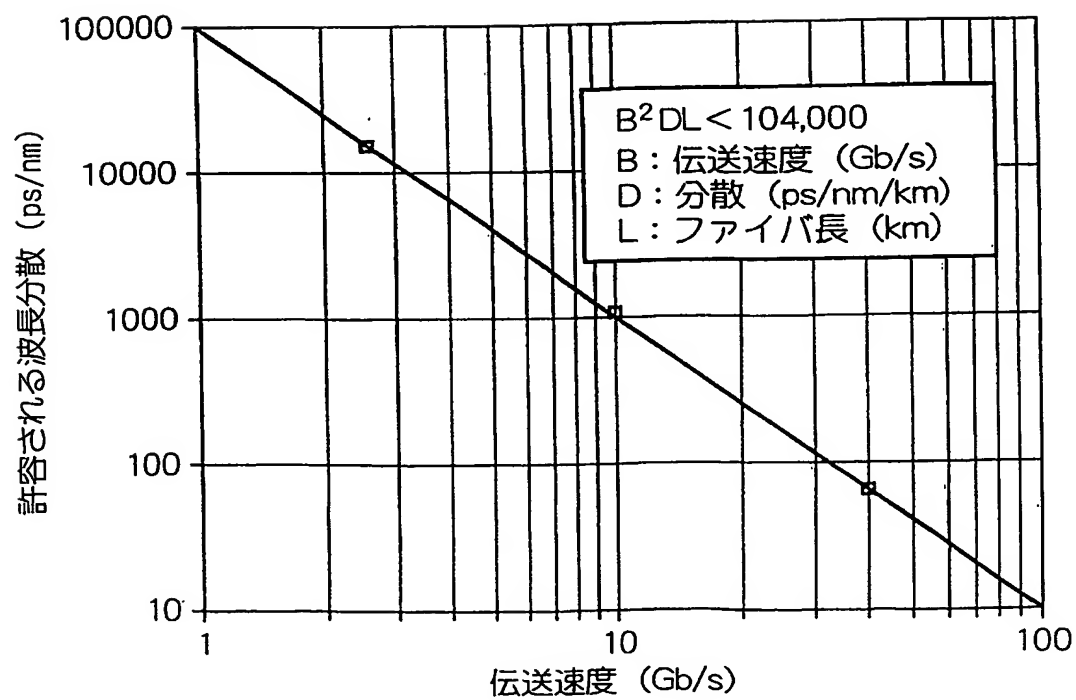


図 3



3/10

図 4

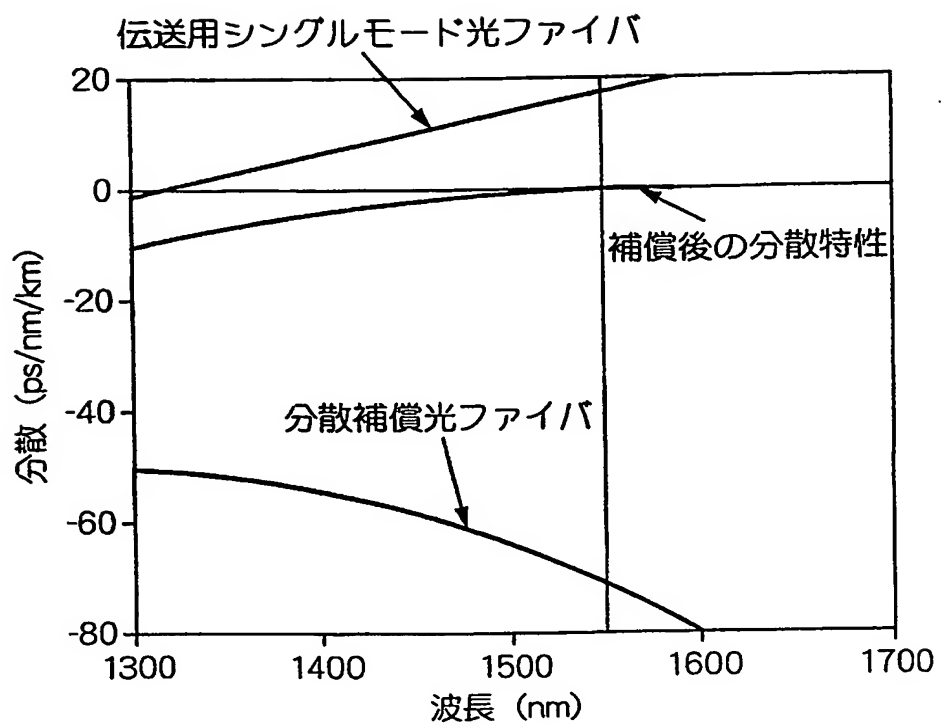
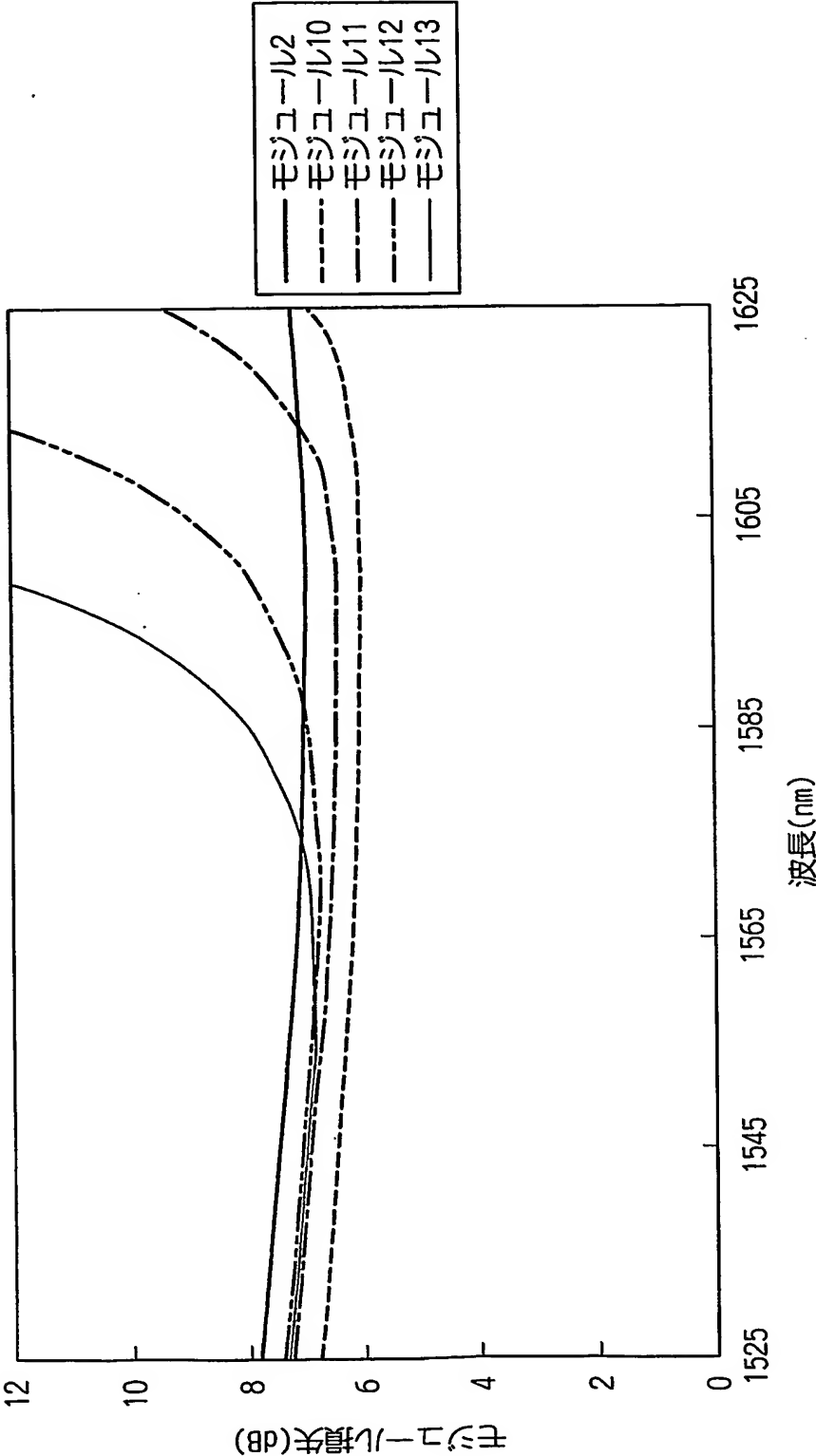


図 5



5/10

図 6

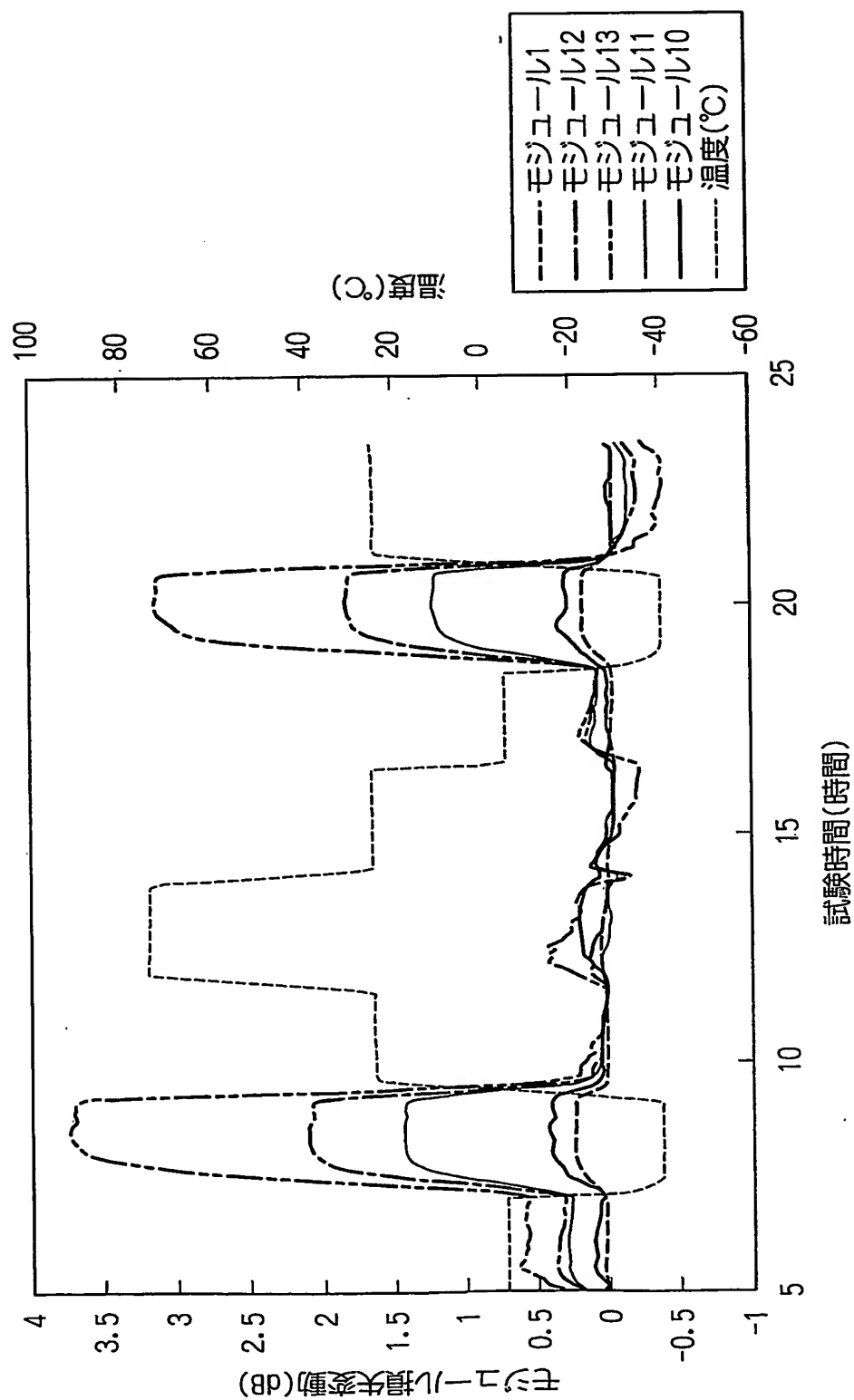


図 7

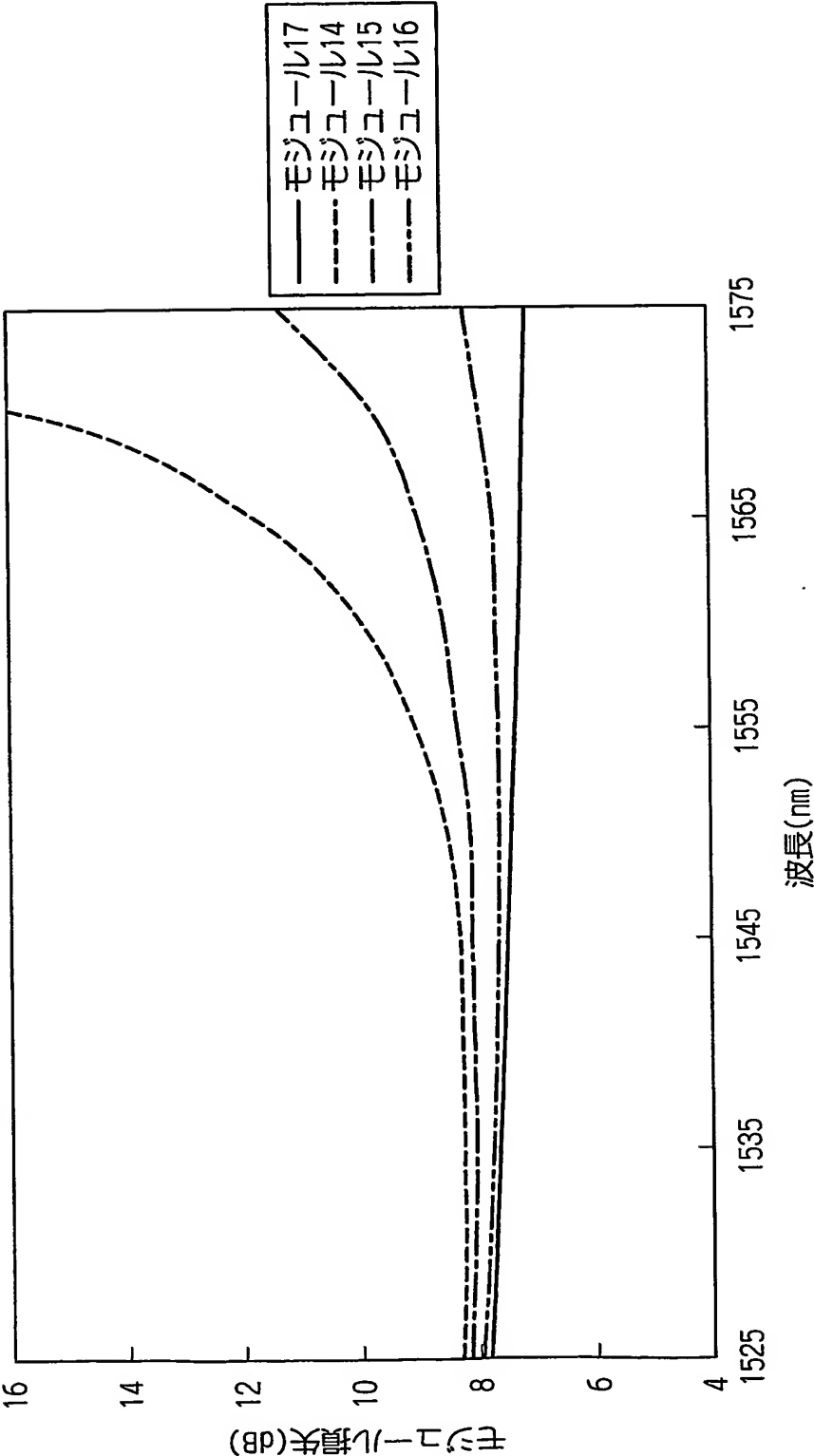


図 8

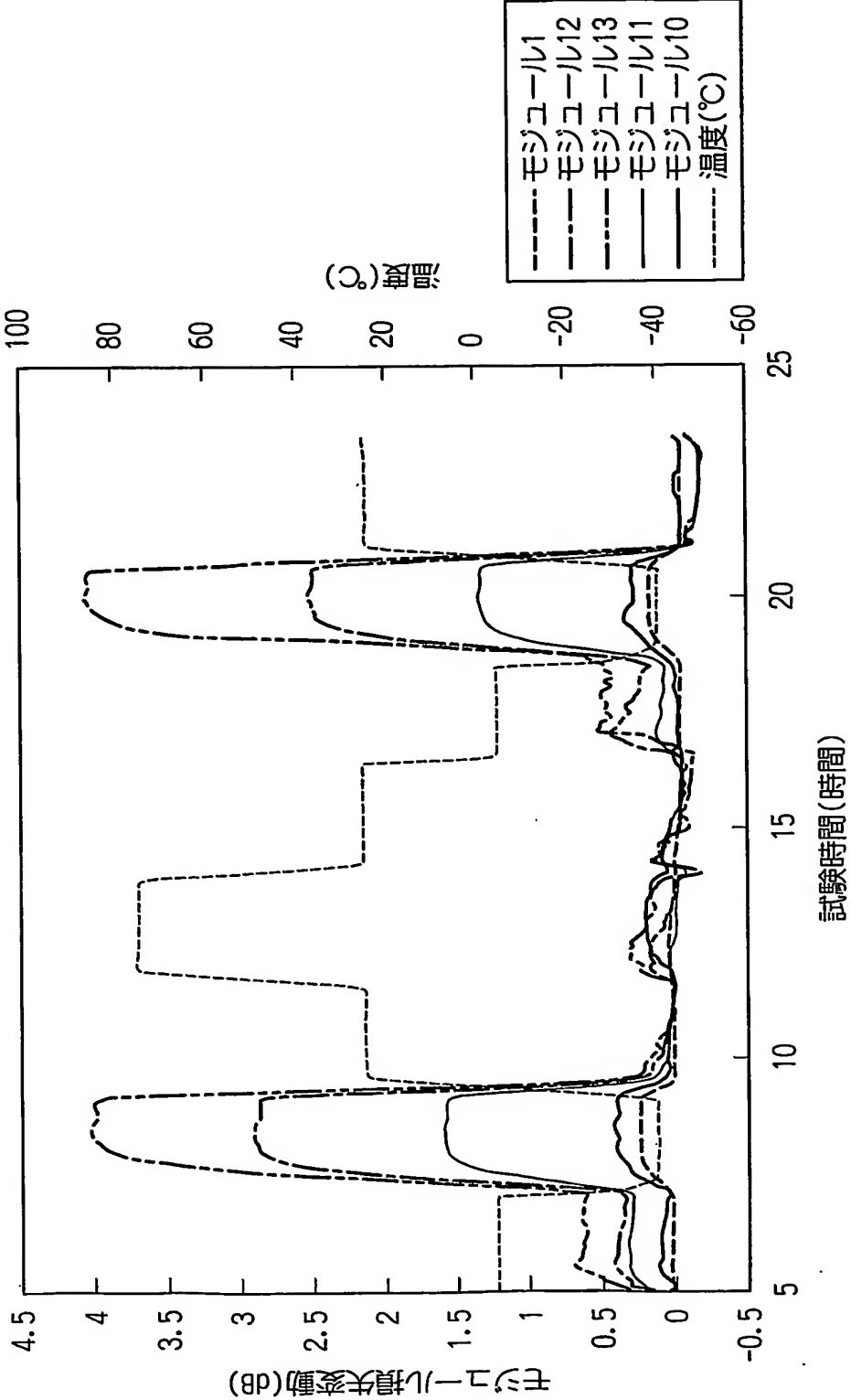


図 9

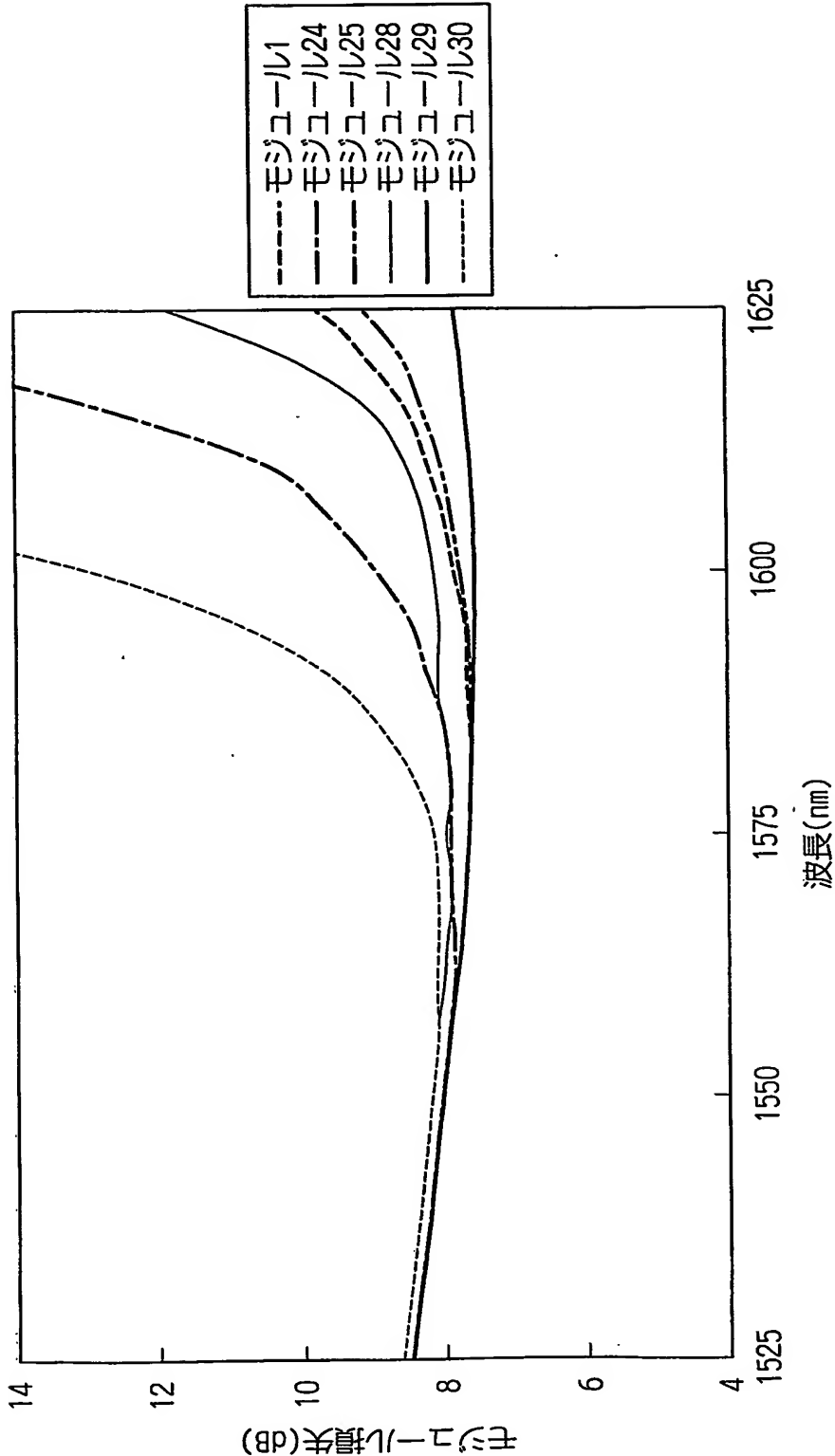
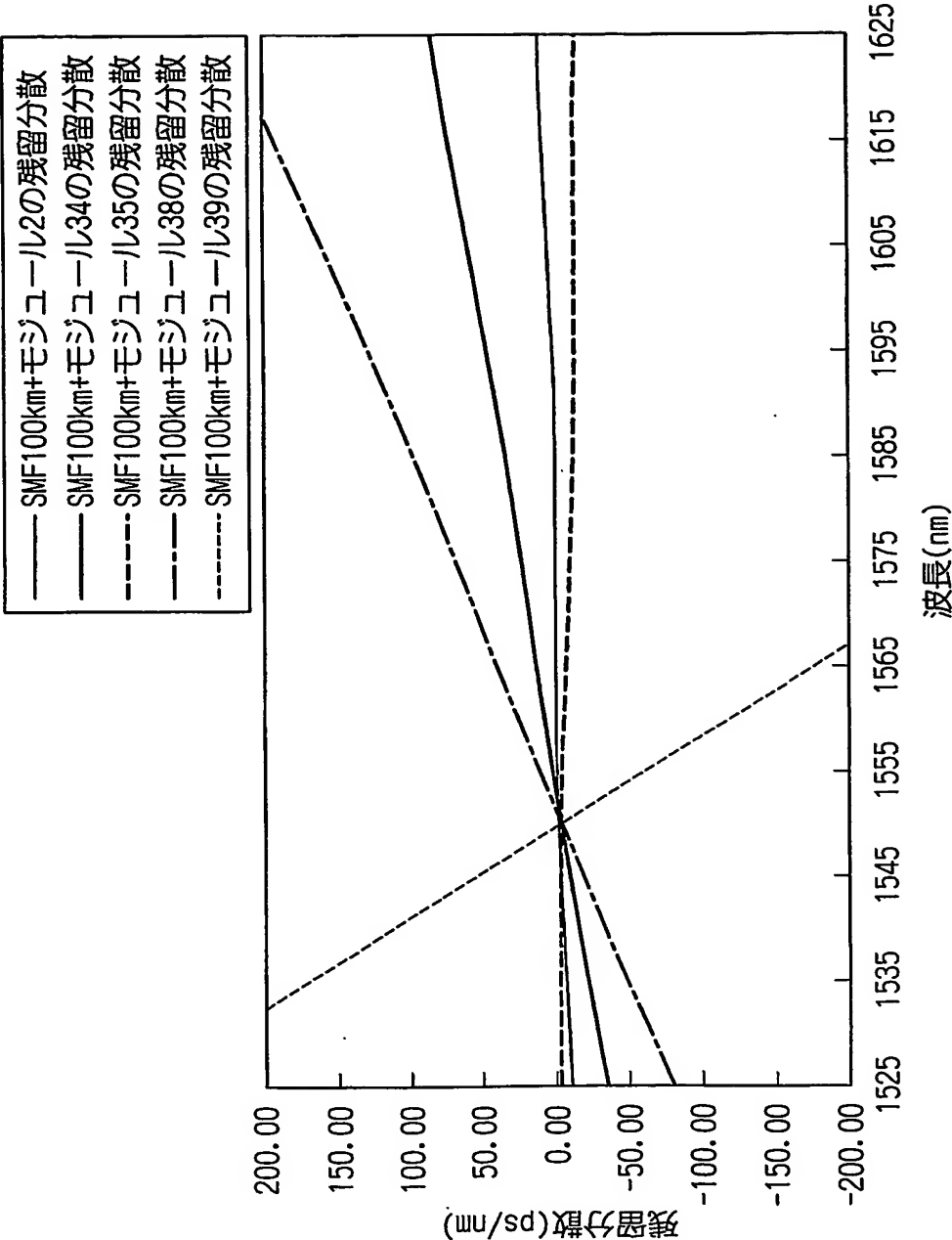
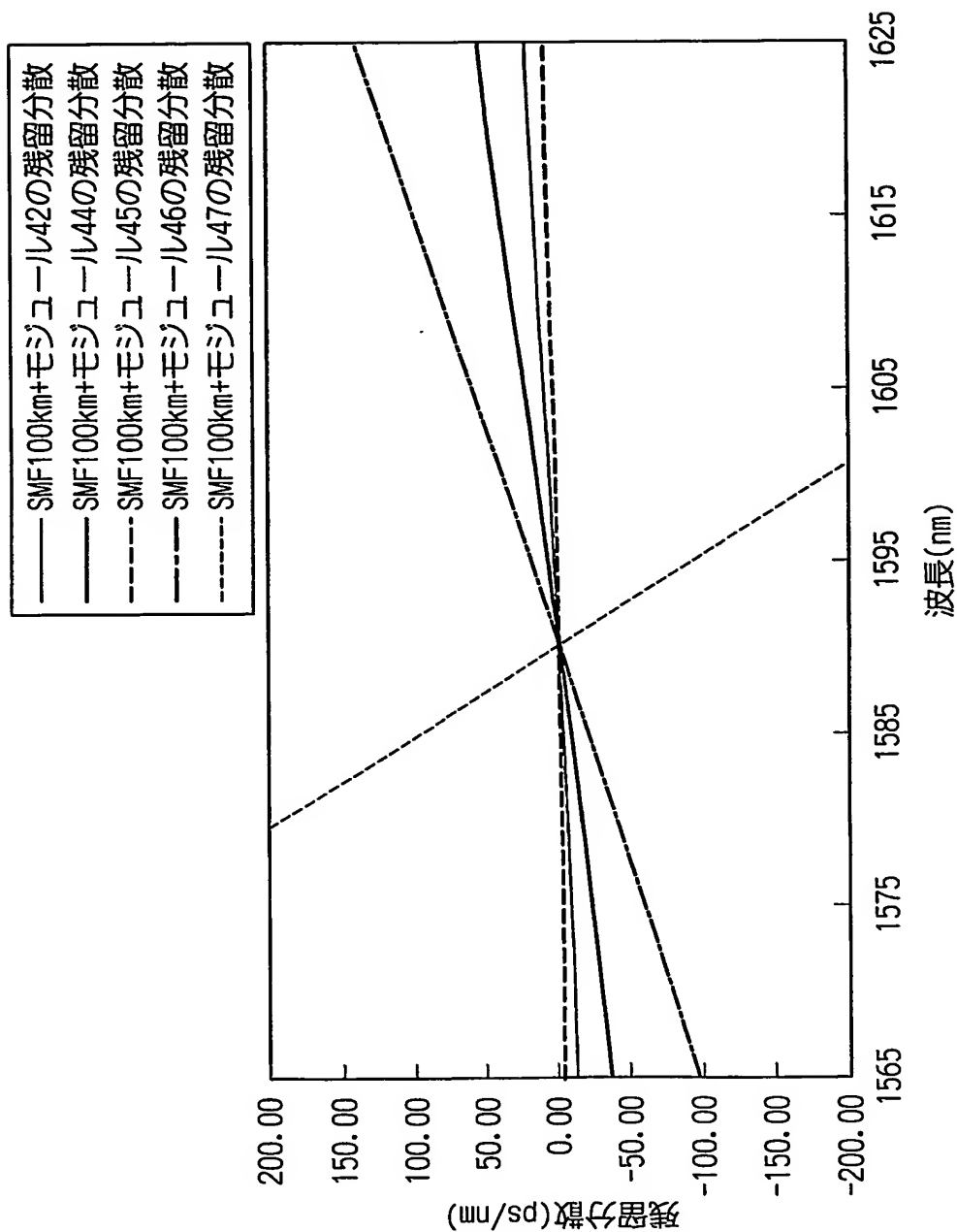


図 10



10/10

図 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/03004

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.C1⁷ G02B6/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.C1⁷ G02B6/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-319266 A (Fujikura Ltd.), 04 December, 1998 (04.12.98), Full text; all drawings; particularly, Par. Nos. [0030], [0035], [0036]; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-9
Y	JP 8-36123 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 06 February, 1996 (06.02.96), Full text; all drawings; particularly, Claims 1 to 5 (Family: none)	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
16 June, 2003 (16.06.03)

Date of mailing of the international search report
01 July, 2003 (01.07.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/03004

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 5-203847 A (Fujikura Ltd.), 13 August, 1993 (13.08.93), Full text; all drawings; particularly, Par. Nos. [0003], [0015] (Family: none)	1-9
Y	JP 10-31120 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 03 February, 1998 (03.02.98), Full text; all drawings; particularly, Fig. 3, Fibers A, B, D (Family: none)	3
A	EP 1107028 A1 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.), 13 June, 2001 (13.06.01), Full text; all drawings; particularly, table 1- Concrete Examples 1, 2 & WO 00/70378 A1 & US 2002/18631 A1	4, 5
A	EP 1122562 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.), 08 August, 2001 (08.08.01), Full text; all drawings; particularly, Second Embodiment & WO 00/17684 A1 & AU 5066499 A & CN 1323405 T	5
A	EP 1130428 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.), 05 September, 2001 (05.09.01), Full text; all drawings; particularly, Fourth Embodiment & WO 00/17685 A1 & AU 5198399 A & CN 302385 T	5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/03004

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

For the reasons given below, this international application includes two inventions that do not comply with the requirement of unity of invention.

Main invention: "Claims 1, 2, 4-9."

Second invention: "Claim 3."

The feature described in Claim 1 is disclosed as prior art in the documents JP 10-319266 A, JP 8-36123 A, and JP 5-203847 A, and cannot be recognized as a "special technical feature" in the sense of the second sentence of PCT Rule 13. 2.

And, Claim 3 has a feature concerning the Young's modulus of the coating layer. (Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/03004

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet(1)

Claims 2, 4-9 shall be classified into the same group as Claim 1 since their features are disclosed in the three documents mentioned above.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ G02B6/22

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ G02B6/22

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 10-319266 A (株式会社フジクラ) 1998. 12. 04 全文, 全図 (特に、段落番号 [0030], [0035], [0036], 図1, 図2) (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 8-36123 A (住友電気工業株式会社) 1996. 02. 06 全文, 全図 (特に、請求項1-5) (ファミリーなし)	1-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16. 06. 03

国際調査報告の発送日

01.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

門田 かづよ

2K

3103

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 5-203847 A (株式会社フジクラ) 1993.08.13 全文, 全図 (特に、段落番号【0003】, 【0015】) (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 10-31120 A (住友電気工業株式会社) 1998.02.03 全文, 全図 (特に、図3のファイバA, B, D) (ファミリーなし)	3
A	EP 1107028 A1 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 2001.06.13 全文, 全図 (特に、Table 1 - Concrete Example 1,2) & WO 00/70378 A1 & US 2002/18631 A1	4, 5
A	EP 1122562 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 2001.08.08 全文, 全図 (特に、Second Embodiment) & WO 00/17684 A1 & AU 5066499 A & CN 1323405 T	5
A	EP 1130428 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 2001.09.05 全文, 全図 (特に、Fourth Embodiment) & WO 00/17685 A1 & AU 5198399 A & CN 1302385 T	5

第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

以下の理由により、この国際出願は発明の単一性の要件を満たさない2つの発明を含む。

主発明：「クレーム1, 2, 4-9」

第2発明：「クレーム3」

請求の範囲1に記載の特徴は、先行技術として、文献JP 10-319266 A、JP 8-36123 AおよびJP 5-203847 Aに開示されており、PCT規則13.2の第2文の意味において「特別な技術的特徴」とは認められない。

そして、請求の範囲3は、被覆層のヤング率について特徴を有する。

請求の範囲2, 4-9は、それに記載の特徴が上記3つの文献に開示されているから、請求の範囲1と同じ発明に区分する。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。